

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) Nº de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 841 797

(21) Nº d'enregistrement national :

02 08318

(51) Int Cl<sup>7</sup> : B 01 J 23/30, B 01 J 21/06, 35/10, 23/888, 23/64, 37/  
12, 37/30, C 10 G 45/08

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 03.07.02.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 09.01.04 Bulletin 04/02.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du  
présent fascicule

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

(71) Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS Etablissement  
public à caractère scientifique et technologique — FR.

(72) Inventeur(s) : FIGUERAS FRANCOIS, ESSAYEM  
NADINE, FECHE CYRIL, LORIDANT STEFANE,  
PALOMEQUE JORGE et GELBARD GEORGES.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

(54) CATALYSEURS A BASE DE TUNGSTENE.

(57) L'invention concerne des solides comprenant une  
nouvelle couche d'oxyde de tungstène sur un support zircone, ca-  
ractérisé en ce que le tungstène présente une coordination  
tétraédrique, avant et après calcination.

L'invention concerne également le procédé de prépara-  
tion des solides, ainsi que leurs utilisations comme cataly-  
seurs de réactions à catalyse acide.

FR 2 841 797 - A1



5 [0001] La présente invention concerne un nouveau catalyseur à base de tungstène sur support zircone, son procédé de préparation et ses utilisations en tant que catalyseur de réactions chimiques, notamment dans le domaine pétrochimique, en particulier le raffinage.

10 [0002] L'oxyde de zirconium ou zircone ( $ZrO_2$ ) est un solide largement utilisé dans la catalyse. Parmi les propriétés physiques qui le rendent tout à fait adapté pour cet usage, on peut citer son point de fusion élevé (3003 K), sa conductivité thermique basse et sa haute résistance à la corrosion par des acides.

15 [0003] Du point de vue des propriétés chimiques, c'est un support amphotère, comme l'alumine, qui peut être utilisé dans des réactions d'oxydation et de réduction. La cristallisation et le frittage des cristallites par calcination ne sont pas désirés pour l'utilisation comme support.

20 [0004] Il est connu que la zircone développe des propriétés acides par sulfatation et est active pour l'isomérisation de paraffines. La surface spécifique améliore l'activité catalytique. Cette surface peut être augmentée par le pH de précipitation. Diverses phases cristallographiques sont observées lors de la calcination de la zircone : tétragonale et monoclinique.

25 [0005] La zircone peut être synthétisée par diverses méthodes comme la précipitation en solution aqueuse de sels de zirconium comme  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ ,  $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ ,  $ZrCl_4$  ou la méthode sol-gel.

30 [0006] Les catalyseurs de tungstène/zircone ( $W-ZrO_2$ ) sont connus depuis longtemps et sont une alternative pour les réactions catalysées par des sites acides. L'avantage de ces solides sur les sulfates est qu'ils ne perdent pas le dopant lors du traitement thermique et ils se désactivent moins. Ils ont été

décris par Hino et Arata (*J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, (1979), 1148) comme des catalyseurs acides forts. La définition comme superacide initialement adoptée a été revue à la baisse, et on admet maintenant couramment que ce sont des acides forts, capables d'isomériser les paraffines 5 linéaires en iso-paraffines à 523 K environ. Dans la mesure où les sites acides n'ont pas pu être identifiés, ces solides sont caractérisés par une composition chimique et un mode de préparation.

[0007] Le solide décrit par Hino et Arata, obtenu par imprégnation de zircone par le métatungstate d'ammonium, doit subir une activation à une 10 température comprise entre 1073 K et 1123 K pour être utilisable en tant que catalyseur d'isomérisation des paraffines. Kresge *et al.* (US 5,902,767) ont décrit un catalyseur qui est actif après calcination à 873 K car il contient de faibles quantités de cuivre. Soled *et al.* (US 5,113,034) ont en revanche préparé 15 un solide avec du sulfate ou du tungstate et obtiennent un solide, qui est actif après une calcination entre 450°C et 800°C. En fait les exemples démontrent que la première calcination à 600°C est suivie d'une calcination à 800°C avant le chargement du catalyseur. Par la suite, Soled (US 5,648,589) s'est démarqué des travaux de Hino en imprégnant la zircone par une solution de silicate et de tungstate.

[0008] Dans le brevet US 5,510,309, Chang *et al.* revendentquent un solide obtenu par coprécipitation de métatungstate d'ammonium et de  $ZrOCl_2$  utilisé après calcination au-delà de 700°C, en fait 825°C dans les exemples. Cette procédure conduit à un solide acide, qui peut être additionné de platine et de fer pour donner un catalyseur d'isomérisation de paraffines (US 6,124,232), 25 de dimérisation d'oléfines (US 5,453,556) ou même de réduction des oxydes d'azote.

[0009] Il n'existe donc pas jusqu'ici de catalyseur tungstène/zircone à forte teneur en tungstène et sans additif, et actif après calcination à une température inférieure ou voisine de 700°C, voire 600°C.

[0010] De plus, un paramètre important à prendre en compte pour apprécier l'activité catalytique des catalyseurs dans diverses réactions 30

chimiques est le degré d'acidité du support catalytique. La structure des solides précédemment décrits a fait l'objet de nombreux travaux. La structure des sites acides de ces différents solides reste cependant toujours inconnue.

[0011] En effet, plusieurs auteurs proposent que les sites acides forts correspondent à la formation de micro domaines de trioxyde de tungstène (WO<sub>3</sub>). Cette hypothèse permet de réconcilier plusieurs observations expérimentales : la croissance d'activité avec le pourcentage de tungstène (20% sur les plus actifs), la nécessité de chauffer le solide à une température ou le frittage commence à se manifester, ainsi que l'observation dans le spectre Raman des raies correspondant aux clusters de WO<sub>3</sub>. E. Iglesia et al. (*J. Phys. Chem. B*, **103**, (1999), 630-640) rapportent que, sur le solide tungstène/zircone décrit dans cette publication, les atomes de tungstène isolés sont dans un environnement octaédrique déformé, et qu'il n'y a pas de tungstène tétraédrique dans le cas de solide tungstène/zircone. Ce point de vue dominant est repris dans une publication de M. Scheithauer et al. (*J. Catal.*, **180**, (1998), 1-13).

[0012] Sohn et Park (*Langmuir*, **14**, (1998), 6140) ont préparé des catalyseurs WO<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub> ne contenant que 5% de tungstène et qui présentent une raie Raman à 935 cm<sup>-1</sup> attribuée à des espèces tétraédriques. Cependant, cette bande disparaît au profit d'une bande attribuée au tungstène octaédrique lorsque la teneur en tungstène croît à 13%. De plus une bande à 808 cm<sup>-1</sup> atteste la présence de micro cristaux de WO<sub>3</sub>.

[0013] On peut en déduire que les catalyseurs tungstène/zircone actuels comportent essentiellement du tungstène octaédrique, probablement en raison de la méthode de préparation basée sur l'utilisation des métatungstates qui ne se décomposent en ions WO<sub>4</sub><sup>2-</sup> qu'à un pH très basique auquel la zircone ne fixe pas d'anions. Or les propriétés chimiques importantes, dont l'acidité, et les propriétés catalytiques dépendent de la coordination des atomes actifs : on s'attend à une acidité plus forte et des propriétés catalytiques plus sélectives pour des espèces tétraédriques.

5 [0014] Ainsi, la présente invention a pour objectif de fournir de nouveaux catalyseurs tungstène/zircone ne possédant pas les inconvénients précités, notamment lors de leurs utilisations dans les réactions catalytiques envisagées.

[0015] Plus précisément, un objectif de la présente invention consiste à fournir des catalyseurs tungstène/zircone à acidité élevée, en particulier plus élevée que les catalyseurs tungstène/zircone connus jusqu'à présent.

10 [0016] Un autre objectif de la présente invention est de fournir de nouveaux catalyseurs tungstène/zircone possédant des propriétés catalytiques améliorées par rapport aux catalyseurs de l'art antérieur, et plus spécifiquement des propriétés plus élevées en terme de sélectivité et/ou de cinétique et/ou de rendement.

15 [0017] Un autre objectif de la présente invention consiste à fournir de nouveaux catalyseurs à base de tungstène supporté sur zircone permettant de catalyser des réactions d'oxydation, d'époxydation, d'hydrodésulfuration, d'isomérisation, et autres, réactions effectuées notamment sur des produits provenant de l'industrie pétrochimique.

20 [0018] D'autres objectifs encore apparaîtront dans l'exposé de l'invention qui suit.

25 [0019] Ainsi, l'invention concerne tout d'abord un solide comprenant une monocouche d'oxyde de tungstène sur un support zircone, caractérisé en ce que le tungstène présente une coordination tétraédrique, avant et après calcination.

[0020] L'invention concerne plus spécifiquement un solide comprenant une monocouche d'oxyde de tungstène sur un support zircone, caractérisé en ce que :

30 a) le tungstène présente une coordination tétraédrique, avant et après calcination ;

b) la surface spécifique du solide, après chauffage à une température inférieure à 800°C, de préférence inférieure à 700°C, notamment inférieure à ou voisine de 600°C, est comprise entre 50 et 300 m<sup>2</sup>/g, plus particulièrement entre 65 et 200 m<sup>2</sup>/g, avantageusement entre 86 et 150 m<sup>2</sup>/g.

5 [0021] L'invention concerne plus spécifiquement un solide comprenant une monocouche d'oxyde de tungstène sur un support zircone, caractérisé en ce que :

a) le tungstène présente une coordination tétraédrique, avant et après calcination ;

10 b) la surface spécifique du solide, après chauffage à une température inférieure à 800°C, de préférence inférieure à 700°C, notamment inférieure à ou voisine de 600°C, est comprise entre 50 et 300 m<sup>2</sup>/g, plus particulièrement entre 65 et 200 m<sup>2</sup>/g, avantageusement entre 86 et 150 m<sup>2</sup>/g ;

15 c) le solide présente une acidité totale mesurée par adsorption d'ammoniac comprise entre 0,1 et 0,5 mmol/g, de préférence entre 0,2 et 0,4 mmol/g, avantageusement d'environ 0,35 mmol/g de solide, après chauffage à une température inférieure à 800°C, de préférence inférieure à 700°C, notamment inférieure à ou voisine de 600°C.

20 [0022] Par "monocouche", on entend une seule couche moléculaire d'oxyde de tungstène, sans formation de cristaux de l'oxyde. En effet, la présence de cristaux de trioxyde de tungstène (WO<sub>3</sub>), qui présente du tungstène sous forme de coordination octaédrique, ne convient pas au solide selon la présente invention.

25 [0023] La coordination tétraédrique du tungstène est confirmée par spectrométrie Raman, une raie de résonance à 935 cm<sup>-1</sup>, maintenue après calcination à une température voisine de 600°C, voire supérieure à 700°C. Les raies de résonance vers 800 cm<sup>-1</sup> et 1000 cm<sup>-1</sup>, caractéristiques du tungstène octaédrique et de micro cristaux de WO<sub>3</sub> sont absentes du spectre Raman du solide selon la présente invention.

30 [0024] Le solide selon la présente invention comprend du tungstène, sous forme oxydée, déposé en monocouche sur un support zircone.

Le ratio tungstène/zircone (exprimé en poids de tungstène) peut être compris entre 0,5% et 80%, avantageusement entre 1% et 40%, de préférence entre 2% et 25%.

[0025] Le solide selon l'invention présente des propriétés catalytiques tout à fait intéressantes et présente en outre l'avantage, par rapport aux catalyseurs connus de l'art antérieur, de pouvoir être utilisé sans avoir subi de calcination préalable, généralement nécessaire pour activer le catalyseur. Il est cependant possible d'activer thermiquement le solide selon l'invention, et, dans de cas, une température de calcination inférieure à 800°C, plus particulièrement inférieure à 700°C, et avantageusement voisine ou inférieure à environ 600°C est suffisante. Cette température correspond également à la température suffisante pour régénérer le catalyseur. Le solide de l'invention peut bien entendu être calciné (activé et/ou régénéré) à des températures supérieures, telles que celles habituellement rencontrées pour les catalyseurs tungstène/zircone de l'art antérieur, températures qui sont généralement égales ou supérieures à 800°C. On notera cependant l'avantage économique et environnemental important de disposer de catalyseurs dont les températures d'activation et/ou régénération sont relativement basses, en particulier inférieures aux températures des catalyseurs disponibles jusqu'à présent.

[0026] Le solide selon la présente invention peut en outre comprendre un ou plusieurs métaux connus pour leurs activités catalytiques, comme par exemple, le platine, le palladium, le rhodium, le cobalt, le nickel, le fer, etc. Ainsi, les solides de l'invention peuvent être par exemple avantageusement additionnés de palladium ou de platine, afin de catalyser des réactions d'hydrogénéation, par exemple hydrogénéation de composés aromatiques des carburants en naphtènes.

[0027] La présente invention concerne également un procédé de préparation du solide tungstène/zircone, caractérisé en ce que l'on dépose une monocouche d'ions  $WO_4^{2-}$  sur un support zircone.

[0028] Le moyen d'obtenir de telles espèces supportées a été trouvé en utilisant un échange d'anions avec la zircone. Parmi les composés du tungstène, l'acide peroxotungstique ( $H_2W_2O_{11}$ ) est stable en milieu très acide, ce qui permet un échange ionique dans de bonnes conditions. L'utilisation de 5 ce composé permet d'obtenir une monocouche de tungstène à la surface de la zircone, par exemple 20% en poids de tungstène, avec une surface initiale de zircone d'environ  $300\text{ m}^2/\text{g}$ . De manière très surprenante le solide obtenu par cette technique présente une raie Raman importante à environ  $935\text{ cm}^{-1}$ , attribuable au tungstène tétraédrique, sans bandes à  $1000\text{ cm}^{-1}$ , ni à  $800\text{ cm}^{-1}$  10 attribuables aux microcristaux octaédriques de trioxyde de tungstène ( $WO_3$ ). Il doit être en outre signalé ici que ces spectres sont obtenus après chauffage sous air à  $600^\circ\text{C}$ .

[0029] Plus particulièrement, le procédé selon la présente invention 15 est caractérisé en ce qu'il comprend les étapes de :

- a) oxydation d'acide tungstique en acide peroxotungstique ( $H_2W_2O_{11}$ ) ;
- b) échange d'anions, en milieu acide, de préférence inférieur à pH 3, entre la solution d'acide peroxotungstique ainsi obtenu et un support 20 zircone ( $ZrO_2$ ) hydraté ; et
- c) récupération du solide tungstène/zircone.

[0030] Dans la première étape a), l'oxydation de l'acide tungstique peut être effectuée selon diverses méthodes, avantageusement sous l'action de 25 peroxyde d'hydrogène. Selon une alternative, il peut être avantageux d'oxyder du trioxyde de tungstène ( $WO_3$ ) hydraté dans le peroxyde d'hydrogène dilué de 10% à 80%, de préférence de 15% à 60%, par exemple à 30%. D'autres méthodes encore pourront être utilisées pour autant qu'elles conduisent à la formation d'anions  $WO_4^{2-}$ , seuls à pouvoir ensuite être échangés avec la 30 zircone hydratée, en milieu acide, de préférence inférieur à pH 3, tout en conservant une structure tétraédrique.

[0031] Le procédé selon l'invention permet d'obtenir un acide peroxytungstique ( $H_2W_2O_{11}$ ) très acide, possédant un pH inférieur à 3, et avec la particularité de se fixer facilement sur la zircone. En effet, le dioxyde de zirconium présente les propriétés d'être un solide amphotère et échangeurs 5 d'anions dans cette zone acide ( $pH < 3$ ).

[0032] Des composés autres que le zirconium, tel que le titane sous forme d'oxyde par exemple, possèdent également la propriété d'être stables en milieu acide, et à ce titre peuvent avantageusement remplacer une partie ou la totalité de la zircone présente dans le support. Ainsi, la présente invention 10 concerne également les catalyseurs comprenant une monocouche de tungstène tétraédrique sur un support composé de dioxyde de titane ( $TiO_2$ ) ou encore d'un mélange zircone/ $TiO_2$ . Dans la suite de la présente invention, le terme "zircone" fait référence à la zircone elle-même, mais aussi au dioxyde de titane seul ou en mélange avec la zircone.

[0033] Jusqu'à présent, les précurseurs utilisés pour fixer le tungstène sur la zircone étaient les métatungstates d'ammonium  $[(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40}]$ , pour lesquels, il est connu des ouvrages généraux de chimie minérale (par exemple celui de P. Pascal) que le tungstène était engagé dans une structure de Keggin, formée d'octaèdres. Cette structure ne se transforme 20 cependant en structure  $WO_4^{2-}$  tétraédrique qu'à des pH très basiques, valeurs de pH auxquelles la zircone n'échange plus que des cations.

[0034] Il a été découvert de manière surprenante que, selon le procédé de la présente invention, l'acide peroxytungstique se décompose à la surface de la zircone en espèces mononucléaires tétraédriques. Ceci a pour 25 conséquence de modifier favorablement les propriétés acides du catalyseur obtenu. En effet, un catalyseur fortement acide améliore considérablement les propriétés, telles que par exemple cinétiques, sélectivités et rendements, de nombreuses réactions chimiques catalytiques, notamment dans le domaine de la pétrochimie. En particulier, le solide selon l'invention possède des propriétés 30 d'oxydation inconnues jusqu'à présent sur les catalyseurs usuels dans lequel le tungstène se dissout plus facilement.

[0035] Ainsi, la présente invention concerne également l'utilisation du solide tungstène/zircone tel que défini précédemment comme catalyseur acide thermiquement stable, catalyseur d'oxydation et d'époxydation, ou encore 5 d'hydrodésulfuration par addition de nickel. D'autres champs d'application sont par exemple l'isomérisation de paraffines et d'oléfines, l'hydrogénéation des aromatiques, l'oxydation en phase liquide des composés soufrés ou des oléfines, la bromation d'oléfines et en général tous types de réactions connues 10 catalysées généralement par les systèmes tungstène octaédrique/zircone (isomérisation des paraffines linéaires en isoparaffines : Hino et al., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, (1979), 1148), par les systèmes tungstène/zircone modifiés par le fer ou additionnés de platine (isomérisation des alcanes à 15 basses températures : Hsu et al., *Chem. Commun.*, (1992), 1645) ou encore par les systèmes tungstène/hydrotalcites (de Vos et al., *Catal. Today*, **60**, (2000), 209-218), pour ne citer que certaines de ces réactions, de manière non limitative.

[0036] Il a en effet été découvert de manière surprenante que les catalyseurs solides selon la présente invention présentent des propriétés 20 catalytiques bien supérieures aux catalyseurs connus de l'art antérieur pour le même type de réaction. Parmi ces propriétés améliorées, on peut citer entre autres la plus faible température d'activation, environ 600°C (ou environ 873 K) par rapport à des températures avoisinant les 800°C pour les catalyseurs habituels, ce qui permet d'accroître la surface spécifique du catalyseur et donc 25 son efficacité.

[0037] Alors que les solides obtenus dans l'art antérieur présentent une coordination octaédrique du tungstène ou des microcristaux de trioxyde de tungstène, la coordination tétraédrique du tungstène confère une plus grande acidité au solide selon l'invention, et par conséquent de meilleurs rendements 30 pour les réactions à catalyse acide (telles que oxydation, époxydation, etc.).

**[0038]** En outre, le solide selon la présente invention possède une grande stabilité chimique et thermique, garantissant ainsi une meilleure régénérabilité du solide.

5 **[0039]** Ainsi, les solides selon l'invention trouvent une application tout particulièrement intéressante dans les réactions catalytiques d'oxydations de dérivés soufrés, notamment ceux présents dans les hydrocarbures, avant voire après raffinage. Les solides selon l'invention sont ainsi particulièrement adaptés pour la désulfuration des hydrocarbures, notamment des carburants, 10 par exemple les essences, kérosènes et gazoles. En particulier, les solides selon la présente invention se sont révélés être des catalyseurs très performants dans les réactions d'oxydations des benzothiophènes et/ou dibenzothiophènes, substitués ou non.

15 **[0040]** Les composés soufrés sont particulièrement indésirables dans les hydrocarbures liquides. En effet, à la présence de soufre est associée la corrosion des appareillages et la détérioration des moteurs à combustion. Le soufre empoisonne également les catalyseurs métalliques utilisés dans le raffinage du pétrole et la conversion catalytique des effluents gazeux. Il est en outre reconnu que l'émission des produits soufrés dans l'atmosphère contribue 20 aux pluies acides et à la formation d'ozone, et la spécification actuelle de 500 ppm maximum de soufre, dans le gazole notamment, doit décroître à seulement quelques ppm dans le futur, ce qui demandera des procédés de plus en plus efficaces.

25 **[0041]** Les composés soufrés, tels que les sulfures, bisulfures et mercaptans, sont d'élimination facile par des procédés de bas coût, mais les thiophènes, comme le benzothiophène (BT), les dibenzothiophènes (DBT) et leurs dérivés, notamment les dérivés substitués, sont plus difficiles à éliminer, étant donné qu'il s'agit de molécules réfractaires.

30 **[0042]** Il existe pourtant des procédés permettant d'éliminer le soufre du pétrole et ses dérivés par hydrodésulfuration des BT et des DBT. Cependant, le coût de ces procédés reste très élevé, principalement du fait des

conditions opératoires, de la consommation d'hydrogène, et des procédés de post-traitement des gaz, tel que le procédé Claus. De plus, les technologies actuelles de désulfuration des hydrocarbures nécessitent d'être améliorées pour conduire à des produits à teneur en soufre encore inférieure. Les coûts 5 fixes augmentent malheureusement considérablement avec le niveau d'extraction. C'est pourquoi, des procédés alternatifs sont proposés, comme l'adsorption, les procédés biologiques et l'oxydation, cette dernière technique étant une alternative de bas coût qui peut éventuellement remplacer l'hydrodésulfuration.

10 [0043] En particulier, le procédé d'oxydation des composés soufrés, tels que les BT et DBT, est notamment une alternative à l'hydrodésulfuration car ces composés sont oxydés en sulfoxydes et sulfones, solubles dans les solvants polaires et peuvent ainsi être facilement extraits par des moyens physiques, comme décrit dans la demande de brevet WO 01/48119.

15 [0044] L'oxydation du dibenzothiophène a été prouvée être possible par des catalyseurs basiques comme les hydrotalcites, en présence de peroxyde d'hydrogène et d'un nitrile. Cependant, ces oxydes mixtes de Magnésium-Aluminium sont peu efficaces, du fait de leur forte basicité qui induit la décomposition du peroxyde d'hydrogène.

20 [0045] Les hydrotalcites à l'état de meixnerites réhydratées sont très actives, oxydant le DBT jusqu'à 98% en 30 minutes dans des systèmes liquides monophasiques, cette conversion atteignant 99% en 45 minutes dans un système à 3 phases. Cependant, il est nécessaire d'utiliser des composés comportant une fonction nitrile, conduisant à des sous-produits (acétamide 25 notamment) difficiles à éliminer, rendant ainsi le procédé peu transposable à l'échelon industriel.

30 [0046] De manière surprenante, il a été découvert que les solides selon la présente invention sont beaucoup plus actifs pour l'oxydation des thiophènes et dérivés tels que les BT et DBT, substitués ou non. En effet, la structure tétraédrique du tungstène étant très stable, même à hautes températures, il a pu être observé des conversions de l'ordre de 99% en des

5 temps de 5 minutes avec le peroxyde d'hydrogène, et de 70% après une heure avec l'hydroperoxyde de tert-butyle (TBHP), conversions qui sont tout à fait compatibles avec une application industrielle. Même en présence de solvant nitrile, les solides de la présente invention ne conduisent que peu ou pas du tout à la formation de sous-produits gênants

[0047] La présente invention concerne donc également un procédé de désulfuration par oxydation de composés ou de compositions contenant des composés soufrés, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes de :

10 a) mise en contact du composé ou de la composition à désulfurer avec un agent oxydant et un solide comprenant une monocouche de tungstène tétraédrique, déposée sur un support zircone ;

15 b) réalisation de la réaction d'oxydation, dans un solvant approprié, de préférence à pression atmosphérique, et à une température appropriée, de préférence entre 20°C et la température d'ébullition du solvant ;

c) élimination des produits d'oxydation du composé ou de la composition de départ.

[0048] Il doit être compris que, dans le procédé ci-dessus, le support zircone peut être remplacé en totalité ou en partie par un support en dioxyde titane ( $TiO_2$ ), comme cela a déjà été indiqué plus haut.

20 [0049] Par composé ou composition à désulfurer, on entend plus particulièrement les produits issus de la distillation du pétrole, qu'ils soient raffinés ou non. De tels produits issus de la distillation du pétrole sont par exemple les hydrocarbures, notamment les carburants, en particulier les essences, kérosènes et gazoles, plus spécifiquement les gazoles.

25 [0050] Par composés soufrés, il doit être entendu de préférence les composés thiophéniques, habituellement présents dans les produits issus de la distillation du pétrole, tels que par exemple le benzothiophène (BT), le dibenzothiophène (DBT) et leurs dérivés, notamment leurs dérivés substitués par un ou plusieurs groupements, choisis notamment parmi les alkyles, en 30 particulier le méthyle. Le procédé selon la présente invention s'est avéré par

exemple particulièrement efficace pour l'oxydation du DBT et ses dérivés substitués, tels que les mono-, di-, tri- ou tétra-alkylbenzothiophènes.

[0051] Grâce à la combinaison de l'agent oxydant et du catalyseur solide selon l'invention, les atomes de soufre des composés thiophéniques sont 5 oxydés en groupements sulfones. Les composés sulfonés ainsi obtenus peuvent ainsi être facilement éliminés du milieu réactionnel selon des techniques classiques connues en soi, telles que décantation, séparation de phases, distillation, etc.

[0052] L'agent oxydant peut également être de tout type connu de 10 l'homme du métier, et est avantageusement choisi parmi les peroxydes, notamment le peroxyde d'hydrogène ou l'hydroperoxyde de tert-butyle. Ces agents oxydants peuvent être utilisés seuls ou en mélange.

[0053] De même les solvants seront choisi en fonction du composé ou de la composition à désulfurer et pourront par exemple être choisis parmi 15 l'eau, les alcanes, par exemple hexane, heptane, octane, nonane, décane, les alcanols, par exemple le 2-butanol, les solvants polaires en général, comme par exemple les nitriles (acétonitrile) ou les éthers cycliques (tétrahydrofurane, dioxane). Le choix du solvant est en fait lié à la nature de la réaction à réaliser, et sera ainsi surtout guidé par des considérations de non toxicité en général 20 requises pour des applications industrielles et eu égard à la protection de l'environnement. Il est bien entendu que des mélanges de solvants peuvent être utilisés, et également que la réaction peut avoir lieu en phase homogène, hétérogène, monophasique, biphasique, voire triphasique. Le composé ou la composition à désulfurer peut également servir de solvant à la réaction.

[0054] Il peut en outre être avantageux d'extraire les sulfones du milieu réactionnel au fur et à mesure de leur formation de manière à déplacer l'équilibre réactionnel et accroître ainsi l'efficacité du procédé. Bien qu'il soit préféré de conduire la réaction d'oxydation en milieu homogène, l'utilisation de solvant polaire dans un milieu réactionnel multiphasique présente ainsi 30 l'avantage de solubiliser les sulfones et déplacer ainsi l'équilibre comme décrit précédemment.

5 [0055] Le rapport oxydant/composés à oxyder peut varier dans de larges proportions, selon les conditions opératoires, la nature de l'oxydant, du composé à oxyder, du solvant utilisé et le taux de transformation souhaité ainsi que de la durée de la réaction envisagée. Ainsi, le rapport oxydant/composés à oxyder peut par exemple varier de 100/1 à 1/100, de préférence de 100/1 à 1/1. Des résultats tout à fait satisfaisant ont été obtenus avec des ratios oxydant/composés à oxyder compris entre 20/1 et 1/1, tout particulièrement compris entre 10/1 et 2/1.

10 [0056] Le procédé de l'invention s'est ainsi montré être particulièrement efficace pour l'oxydation des composés thiophéniques contenus dans les gazoles, avec des taux de conversion en sulfones compris généralement entre 80% et 99,9% selon les conditions opératoires.

15 [0057] La présente invention concerne par conséquent également les carburants, notamment les gazoles, désulfurés par le procédé de la présente invention.

20 [0058] Les exemples suivants illustrent les objets de la présente invention, sans toutefois la limiter d'aucune façon.

#### Exemple A : Préparation et caractérisation des catalyseurs solides

##### Exemple A1 : Préparation du support

25 Le support zircone est disponible dans le commerce (par exemple chez MEL® Chemicals) ou bien encore peut être préparé selon des techniques connues en soi, et par exemple selon le mode opératoire suivant :

30 On réalise un précipitation d'hydroxyde de zirconium à pH = 9, à partir de 100 mL d'une solution 0,4 M de  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$  et d'une solution d'ammoniaque (28%). La suspension est vieillie pendant 2 heures, puis séparée par centrifugation, lavée plusieurs fois avec de l'eau déionisée jusqu'à élimination complète des anions chlorures. Le gel blanc obtenu est séché à 110°C pendant 22 h, puis broyé.

Exemple A2 : Préparation du catalyseur

Des catalyseurs tungstène/zircone, avec différentes teneurs en tungstène ont été préparés à partir de zircone obtenue par sol-gel, et utilisée à 5 l'état hydraté, selon les modes opératoires suivants :

a) *Préparation de  $ZW_{0,1600}$* 

Une solution d'acide tungstique 0,1 M est réalisée par dilution de 6,25 g d'acide tungstique dans 250 mL de peroxyde d'hydrogène à 35%. On fait 10 ensuite l'échange anionique entre la solution d'acide tungstique et l'hydroxyde de zirconium. On compte 75 mL de solution pour 5g d'hydroxyde, dans le cas étudié, 10 g d'hydroxyde de zirconium dans 150 mL de solution d'acide tungstique. L'ensemble est agité pendant 15 min, filtré puis placé à l'étuve à 80°C pendant 24 heures. Enfin, le solide est calciné sous air (débit 20 cm<sup>3</sup>/min) 15 à 600°C pendant 3 heures. Cette zircone tungstée contient 19,4% de tungstène.

b) *Préparation de  $ZW_{0,25700}$* 

On prépare une solution d'acide tungstique à 0,25 M par dilution de 20 15,62 g d'acide tungstique dans 250 mL de peroxyde d'hydrogène à 35%. La suite de la préparation est identique à celle de  $ZW_{0,1600}$ , le solide étant calciné à 700°C au lieu de 600°C. Cette zircone tungstée contient 19,8% de tungstène, ce qui montre que l'équilibre est entièrement déplacé vers la fixation de tungstène sur la zircone.

25

c) *Préparation de Zr-1, Zr-2, Zr-3 et Zr-4*

Pour ces catalyseurs, on a utilisé une zircone commerciale disponible chez MEL® Chemicals (référence MELCAT F20 922/1), de surface spécifique de 309 m<sup>2</sup>/g, échangée par une solution d'acide pertungstique 0,12 M à 30 température ambiante.

Le solide (désigné par Zr-1 dans la suite) a été obtenu en utilisant un excès de tungstène (50 mL de solution 0,1 M pour 2 g de solide). Des catalyseurs Zr-2 à Zr-4, moins concentrés, sont obtenus en diminuant la quantité de solution de tungstène.

5

Ont ainsi été préparés les solides Zr-1, Zr-2, Zr-3 et Zr-4, dont les teneurs en tungstène W% (exprimées en pourcentage en poids de tungstène) sont données dans le Tableau I suivant :

- Tableau I -

Catalyseur	W%
Zr-1	20,61
Zr-2	2,14
Zr-3	5,19
Zr-4	10,17

10

d) Préparation d'un catalyseur non-conforme à l'invention  
(exemple comparatif)

Le catalyseur ZW<sub>1</sub> a été préparé selon la méthode décrite par E. Iglesia et al., *J. Catal.*, **194**, (2000), 175-187 :

De la zircone hydratée (1 g) est imprégnée à température ambiante par 0,29 mL de métatungstate en solution aqueuse (0,23 M) et agitée pendant 1 heure. Le solide résultant est séché pendant 12 heures à 110°C, puis calciné à 800°C pendant 3 heures sous air sec (20 cm<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>). Ce solide contient 19,1% de tungstène et est désigné par ZW<sub>1</sub> dans la suite.

20

**Caractérisations physico-chimiques des solides**

Les catalyseurs solides Zr-1 à Zr-4 ont été analysés pour leurs propriétés physiques et chimiques, avec les résultats suivants :

a) Diffraction des rayons X

La structure de ces solides, confirmé par diffraction de rayons X, est plutôt amorphe (absence de micro cristaux de  $WO_3$ ) avec de faibles proportions de zircone tétraédrique révélée par la bande large à  $2\theta$  égale à  $30^\circ$ .

b) Propriétés texturales

Les isothermes d'adsorption de ces solides sont de type I correspondant à des échantillons microporeux. Les analyses ont été effectuées sur les échantillons imprégnés et évacués sur vide à 523 K. Aucune calcination n'a été faite avant ce traitement. Les propriétés sont résumées dans le tableau II suivant :

- Tableau II -

Catalyseur	$S_{TOT,BET}$ ( $m^2/g$ )	$S_{microporeux}$ ( $m^2/g$ )	$V_{microporeux}$ ( $mL/g$ )
Zircone de départ	308,8	188,3	0,085
Zr-1	295,5	111,5	0,044
Zr-2	313,6	189,9	0,083
Zr-3	349,3	195,1	0,087
Zr-4	370,7	233,6	0,103

15

L'incorporation de tungstène sur la zircone a pour effet une augmentation des propriétés texturales pour une teneur en tungstène variant de 2 à 10 %, et diminuant avec une teneur en tungstène de 20 %.

20 c) Spectroscopie Raman

Le spectre Raman du solide tungstène/zircone  $ZW_{0,1600}$ , préparé avec une concentration 0,1 M d'acide tungstique, puis calciné à  $600^\circ C$  est présenté sur la Figure I. Sur cette même Figure I a été porté le spectre Raman du catalyseur tungstène/zircone  $ZW_1$ .

Sur cette Figure I sont portés :

- en abscisse, les longueurs d'onde en  $\text{cm}^{-1}$  ;
- en ordonnée, l'amplitude du signal;
- en pointillé, le spectre Raman du catalyseur  $\text{ZW}_{0,1600}$  ; et
- en trait plein, le spectre Raman du catalyseur  $\text{ZW}_1$ .

5

La bande à  $935 \text{ cm}^{-1}$  est attribuée au tungstène tétraédrique, alors que le solide  $\text{ZW}_1$  présente les raies du tungstène octaédrique, en accord avec les publications de E. Iglesia et al. (cf. *supra*).

10

d) Aire spécifique

15

Le tableau III montre l'influence de la température de calcination et de la concentration de la solution d'acide tungstique sur l'aire BET et la taille des pores des solides selon la présente invention. Ces données sont déduites des isothermes d'adsorption d'azote sur les solides préparés à partir de zircone hydratée possédant une aire BET égale à  $211 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , et un diamètre moyen de pores de 1,4 nm.

- Tableau III -

Concentration $\text{H}_2\text{WO}_5$	0,1 M	0,25 M	0,5 M	$\text{ZW}_1$
T calcination : $600^\circ\text{C}$	$96 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ $\varnothing = 1,6 \text{ nm}$	$121 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ $\varnothing = 1,7 \text{ nm}$	$125 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ $\varnothing = 1,8 \text{ nm}$	
T calcination : $800^\circ\text{C}$	$55 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ $4 < \varnothing < 7 \text{ nm}$	$44 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ $4 < \varnothing < 8 \text{ nm}$	$43 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ $4 < \varnothing < 8 \text{ nm}$	$44 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ $8 < \varnothing < 18 \text{ nm}$

20

e) Acidité des solides

L'acidité de ces solides a été mesurée par adsorption d'ammoniac, exprimée en mmole d'ammoniac par gramme de catalyseur et en mole d'ammoniac par mole de tungstène. Les résultats sont résumés dans le tableau IV ci-dessous.

25

- Tableau IV -

Catalyseurs	Tungstène (% en poids)	mmole NH <sub>3</sub> / g. de catalyseur	mole NH <sub>3</sub> /mole W
ZW <sub>0,1</sub> 600	19,4	0,35	0,33
ZW <sub>0,1</sub> 800	19,5	0,32	0,30
ZW <sub>1</sub>	19,1	0,14	0,14

Le catalyseur de l'invention présente un nombre de sites acides, par gramme ou mole de tungstène, double du catalyseur ZW<sub>1</sub>. Ceci est cohérent 5 avec la coordination tétraédrique du tungstène des solides de la présente invention observée en Raman.

Ces propriétés acides correspondent aussi à des propriétés catalytiques intéressantes pour l'isomérisation des paraffines dans laquelle un catalyseur platine-tungstène/zircone calciné à 600°C présente une activité, et 10 se régénère réversiblement (cf. Exemple C *infra*).

#### Exemple B : Exemple de conversion de dibenzothiophène en sulfone

Avec chacun des catalyseurs Zr-1, Zr-2, Zr-3 et Zr-4 précédemment 15 décrits, on réalise des essais d'oxydation de dibenzothiophène (0,5 mmol) avec du peroxyde d'hydrogène (5 mmol) dans 10 mL d'acétonitrile, à une température de 298 K (60°C), et une quantité de catalyseur de 0,1 g. Les réactions sont conduites dans un réacteur de 30 mL muni d'un réfrigérant et d'un septum pour le prélèvement d'échantillons. La température est stabilisée par bain d'huile.

Les résultats sont présentés sur la Figure II. La conversion de DBT en sulfone est obtenue avec un ordre d'activité Zr-1 > Zr-4 > Zr-3 > Zr-2, identique 20 à celui de la teneur en tungstène dans les catalyseurs. L'équilibre est atteint en 5 minutes avec des conversions allant jusqu'à 99 % pour le solide Zr-1. Cette haute activité est attribuée au tungstène tétraédrique formé à partir de l'acide peroxytungstique. Aucune formation d'acétamide (provenant de l'acétonitrile) 25

n'a été observée, montrant que le mécanisme de la réaction est différent des mécanismes basiques connus.

À titre de comparaison, un test comparatif a été conduit, dans les mêmes conditions (DBT : 0,5 mmol, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : 5 mmol, solvant : acétonitrile, 5 température de réaction : 60°C), avec 100 mg du catalyseur ZW<sub>1</sub> calciné à 800°C. Le pourcentage de conversion en fonction du temps est présenté à la Figure III et montre clairement la supériorité du catalyseur Zr-1 de la présente invention.

10 ***Effets de la concentration en oxydant***

L'utilisation de quantités élevées de peroxyde d'hydrogène a des répercussions sur les coûts fixes du procédé et il est donc nécessaire de déterminer la concentration minimale d'oxydant qui peut être utilisé sans perte d'activité. En reprenant les conditions opératoires exposées précédemment, 15 divers tests ont été réalisés en faisant varier la concentration de l'oxydant. Le solvant utilisé dans ces expériences est le 2-butanol. Les résultats sont présentés sur la Figure IV, où apparaissent les divers taux de conversion du DBT en fonction du temps, pour des rapports oxydant/DBT variant de 1 à 10.

La conclusion de ces tests est qu'il est possible de travailler avec des 20 ratios oxydant/DBT inférieurs à 10. En particulier, un ratio égal à 4 est acceptable sans perte d'activité, et une conversion de 70 % peut être atteinte avec un rapport de 2, ce qui peut rendre le procédé économiquement plus attractif.

25 **Exemple C : Exemple d'isomérisation d'alcanes**

Cet exemple présente la capacité des catalyseurs selon l'invention à isomériser sélectivement l'hexane en méthylpentanes.

On réalise un mélange mécanique de 80 mg de zircone tungstée selon l'invention avec 80 mg de platine/silice (Pt/SiO<sub>2</sub>). La réaction est conduite en 30 phase gazeuse à 225°C, sous débit d'hydrogène et d'azote, avec D<sub>T</sub> = 1,9 L/h, P<sub>H2</sub> = 5,60 kPa et P<sub>Hexane</sub> = 5,47 kPa.

La réaction se produit par catalyse bi-fonctionnelle, et dans les conditions de la réaction, la vitesse est limitée par la fonction acide. Ce test permet donc de constater (voir Figure V) la plus forte acidité de la préparation revendiquée, après calcination à plus basse température (700°C contre 800°C pour ZW<sub>1</sub>).

#### Exemple D : Exemple d'époxydation d'oléfines

On réalise l'époxydation de 5 mmol de cyclohexène, avec 12,5 mmol de peroxyde d'hydrogène et 0,1 g de catalyseur Zr-3 décrit précédemment, dans 10 mL de méthanol. La réaction est étudiée à 298 K et à 348 K et les résultats, après une heure de réaction sont présentés dans le tableau V suivant :

- Tableau V -

Catalyseur	Rendement époxydation (%)	Oxydant	Température (K)
Zr-3	9,8	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	298
Zr-3	38,1	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	348
Zr-3	27,9	TBHP	348

15 Les produits sont l'époxyde seul à 298 K et le cyclohexanediol à 348 K.

## REVENDICATIONS

5. 1. Solide comprenant une monocouche d'oxyde de tungstène sur un support zircone, caractérisé en ce que le tungstène présente une coordination tétraédrique, avant et après calcination.

10. 2. Solide selon la revendication 1, caractérisé en ce que :  
a) le tungstène présente une coordination tétraédrique, avant et après calcination ;  
b) la surface spécifique du solide, après chauffage à une température inférieure à 800°C, de préférence inférieure à 700°C, notamment inférieure à ou voisine de 600°C, est comprise entre 50 et 300 m<sup>2</sup>/g, plus particulièrement entre 65 et 200 m<sup>2</sup>/g, avantageusement entre 86 et 150 m<sup>2</sup>/g.

15. 3. Solide selon la revendication 1, caractérisé en ce que :  
a) le tungstène présente une coordination tétraédrique, avant et après calcination ;  
b) la surface spécifique du solide, après chauffage à une température inférieure à 800°C, de préférence inférieure à 700°C, notamment inférieure à ou voisine de 600°C, est comprise entre 50 et 300 m<sup>2</sup>/g, plus particulièrement entre 65 et 200 m<sup>2</sup>/g, avantageusement entre 86 et 150 m<sup>2</sup>/g ;  
c) le solide présente une acidité totale mesurée par adsorption d'ammoniac comprise entre 0,1 et 0,5 mmol/g, de préférence entre 0,2 et 0,4 mmol/g, avantageusement d'environ 0,35 mmol/g de solide, après chauffage à une température inférieure à 800°C, de préférence inférieure à 700°C, notamment inférieure à ou voisine de 600°C.

20. 4. Solide selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le ratio tungstène/zircone, exprimé en poids

de tungstène, est compris entre 0,5% et 80%, avantageusement entre 1% et 40%, de préférence entre 2% et 25%.

5. Solide selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que tout ou partie du support zircone est remplacé par un support en dioxyde de titane ( $TiO_2$ ).

6. Solide selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un ou plusieurs métaux 10 choisis parmi le platine, le rhodium, le cobalt, le palladium, le nickel et le fer.

7. Solide selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que sa température d'activation et/ou de régénération est inférieure à  $800^{\circ}C$ , plus particulièrement inférieure à  $700^{\circ}C$ , 15 avantageusement voisine ou inférieure à  $600^{\circ}C$ .

8. Procédé de préparation d'un solide selon l'un des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'une monocouche d'ions  $WO_4^{2-}$  est déposée sur un support zircone.

20

9. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes de :

a) oxydation d'acide tungstique en acide peroxotungstique ( $H_2W_2O_11$ ) ;

25 b) échange d'anions, en milieu acide, de préférence inférieur à pH 3, entre la solution d'acide peroxotungstique ainsi obtenu et un support zircone ( $ZrO_2$ ) hydraté ; et

c) récupération du solide tungstène/zircone.

30 10. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes de :

- a) oxydation de trioxyde de tungstène ( $WO_3$ ) hydraté en présence d'un agent d'oxydation ;
- b) échange d'anions, en milieu acide, de préférence inférieur à pH 3, entre la solution d'acide peroxytungstique ainsi obtenu et un support 5 zircone ( $ZrO_2$ ) hydraté ; et
- c) récupération du solide tungstène/zircone.

11. Utilisation d'un solide selon l'une des revendications 1 à 7 comme catalyseur de réactions d'oxydation, d'époxydation, d'hydrodésulfuration 10 d'isomérisation de paraffines et d'oléfines, d'hydrogénéation de composés aromatiques, d'oxydation de composés soufrés ou d'oléfines.

12. Utilisation selon la revendication 11, caractérisée en ce que la réaction catalysée est une réaction à catalyse acide.

15 13. Utilisation selon l'une des revendications 11 ou 12, caractérisée en ce que la réaction est une réaction catalytique d'oxydation de dérivés soufrés, notamment ceux présents dans les hydrocarbures, avant voire après raffinage.

20 14. Utilisation selon l'une quelconque des revendications 11 à 13 pour la désulfuration des hydrocarbures, notamment des carburants, par exemple les essences, kérosènes et gazoles.

25 15. Utilisation selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, caractérisée en ce que la réaction est une réaction catalytique d'oxydation de benzothiophènes et/ou dibenzothiophènes, substitués ou non.

30 16. Procédé de désulfuration par oxydation de composés ou de compositions contenant des composés soufrés, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes de :

- a) mise en contact du composé ou de la composition à désulfurer avec un agent oxydant et un solide comprenant une monocouche de tungstène tétraédrique, déposée sur un support zircone ;
- 5 b) réalisation de la réaction d'oxydation, dans un solvant approprié, de préférence à pression atmosphérique, et à une température appropriée, de préférence entre 20°C et la température d'ébullition du solvant ;
- c) élimination des produits d'oxydation du composé ou de la composition de départ.

10 17. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le support zircone peut être remplacé en totalité ou en partie par un support en dioxyde titane ( $TiO_2$ ).

15 18. Procédé selon l'une des revendications 16 ou 17, caractérisé en ce que les composés ou les compositions à désulfurer sont des produits raffinés ou non, issus de la distillation du pétrole, en particulier des hydrocarbures, et notamment les carburants, en particulier les essences, kérénènes et gazoles, plus spécifiquement les gazoles.

20 19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 16 à 18, caractérisé en ce que les composés sont des dérivés thiophéniques, en particulier les benzothiophènes, les dibenzothiophènes et leurs dérivés, notamment substitués.

25 20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 16 à 19, caractérisé en ce que l'agent oxydant est choisi parmi les peroxydes, notamment le peroxyde d'hydrogène ou l'hydroperoxyde de tert-butyle, ces agents oxydants pouvant être utilisés seuls ou en mélange.

30 21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 16 à 20, caractérisé en ce que le solvant de la réaction est choisi parmi le composé ou la

composition à traiter, l'eau, les alcanes, les alcanols, les solvants polaires, ces solvants pouvant être utilisés seuls ou en mélange.

22. Procédé selon l'une quelconque des revendications 16 à 21,  
5 caractérisé en ce qu'il est réalisé en milieu homogène, hétérogène,  
monophasique, biphasique, voire triphasique.

23. Procédé selon l'une quelconque des revendications 16 à 22,  
caractérisé en ce que le rapport oxydant/composés à oxyder est compris entre  
10 100/1 et 1/100, de préférence entre 100/1 et 1/1, de préférence encore entre  
20/1 et 1/1, et tout particulièrement compris entre 10/1 et 2/1.

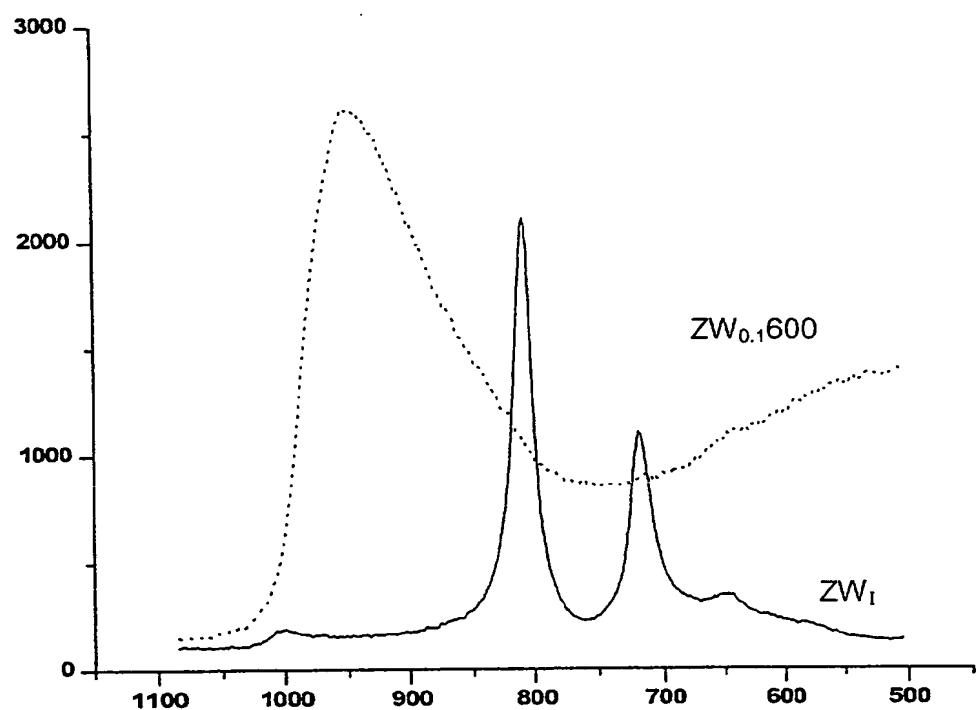
24. Procédé selon l'une quelconque des revendications 16 à 23,  
caractérisé en ce que le produit d'oxydation est éliminé du milieu réactionnel au  
15 fur et à mesure de sa formation.

25. Carburant désulfuré, substantiellement obtenu selon le  
procédé décrit dans l'une quelconque des revendications 16 à 24.

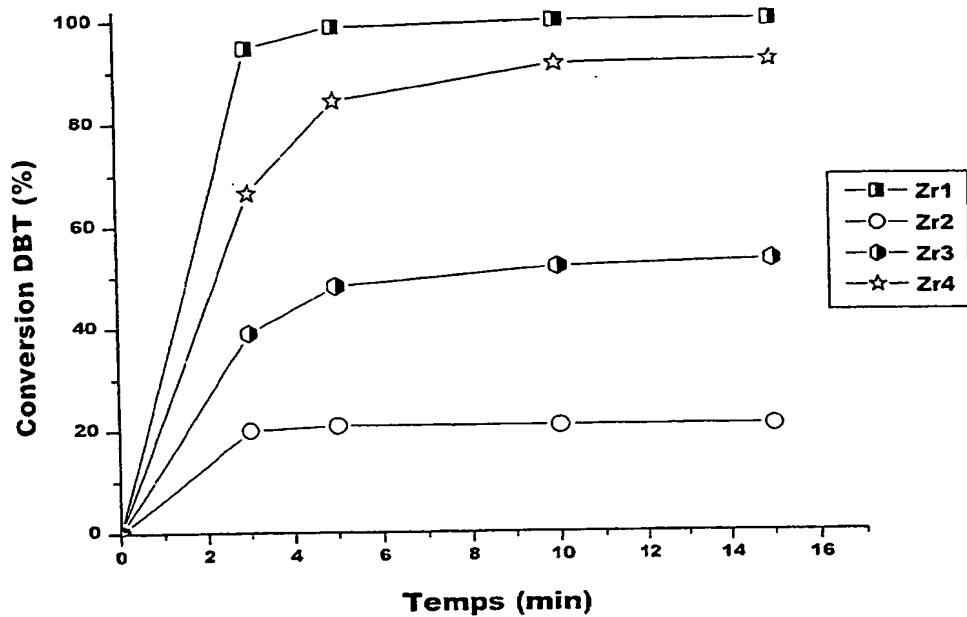
26. Carburant selon la revendication 25, caractérisé en ce qu'il  
s'agit de gazole.

1/3

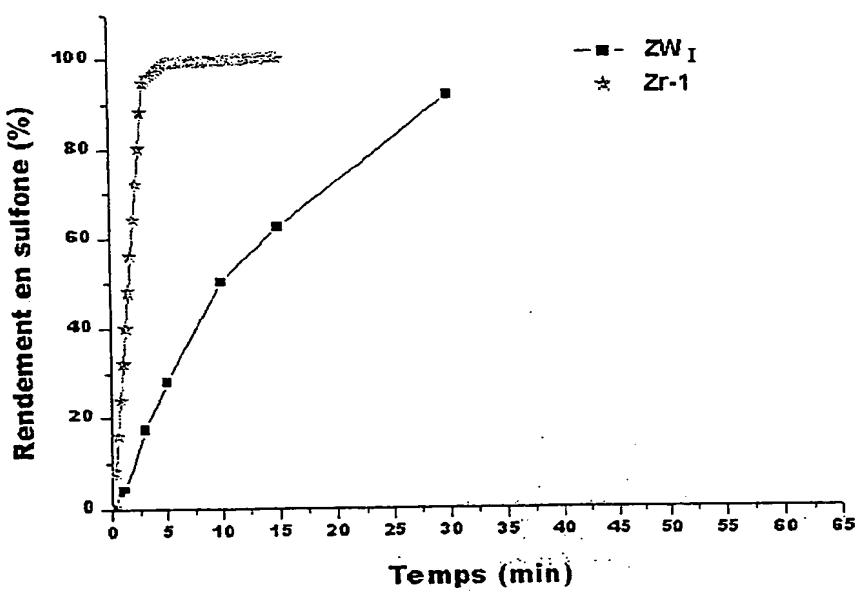
5

-- Figure I --

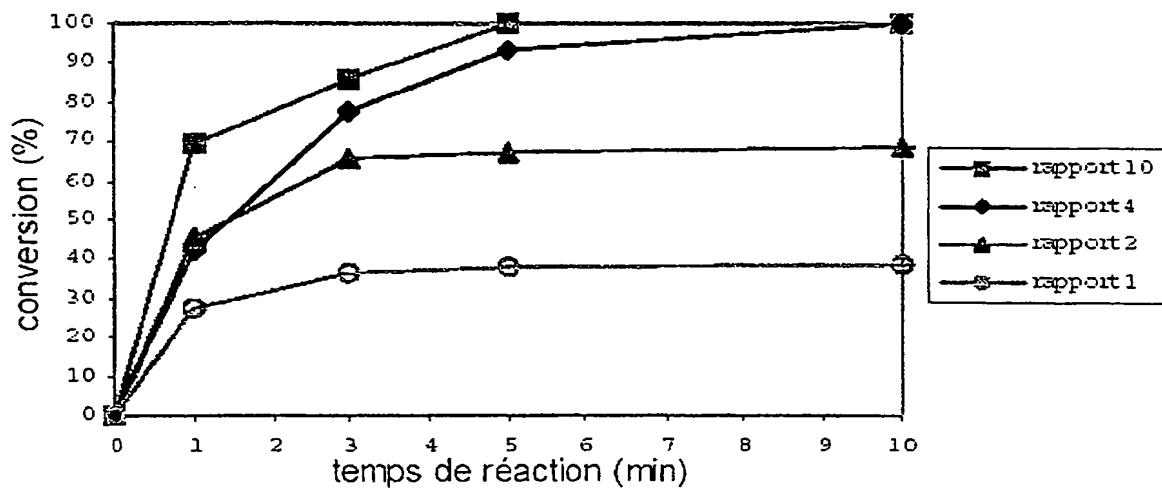
2/3

-- Figure II --

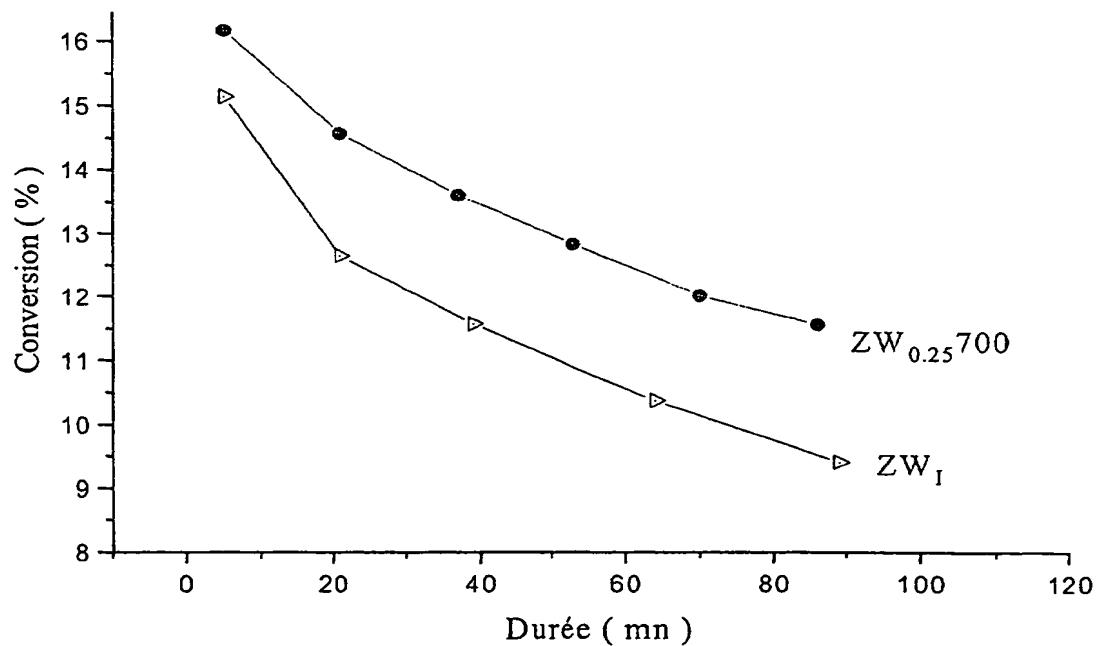
5

-- Figure III --

3/3

-- Figure IV --

20

-- Figure V --



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE PARTIEL**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche  
voir FEUILLE(S) SUPPLÉMENTAIRE(S)

N° d'enregistrement  
nationalFA 620388  
FR 0208318

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendications concernées	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
X	PARERA J M ET AL: "n-butane isomerization on tungsten oxide supported on zirconia" APPLIED CATALYSIS A: GENERAL, ELSEVIER SCIENCE, AMSTERDAM, NL, vol. 163, no. 1-2, 5 décembre 1997 (1997-12-05), pages 165-175, XP004338258 ISSN: 0926-860X * page 166, colonne de gauche, ligne 30 - colonne de droite, ligne 29 * * tableau 1 * * page 170, colonne de gauche, ligne 13 - ligne 16 * * page 172, colonne de gauche, ligne 7 - ligne 10 * ---	1-4, 7, 11, 12	B01J23/30 B01J21/06 B01J35/10 B01J23/888 B01J23/64 B01J37/12 B01J37/30 C10G27/12
X	JONG RACK SOHN ET AL.: "Characterization of zirconia-supported tungsten oxide catalyst" LANGMUIR, vol. 14, no. 21, 1998, pages 6140-6145, XP002234339 * page 6141, colonne de gauche, ligne 6 - colonne de droite, dernière ligne * * figures 1, 7 * ---	1-4, 7, 11, 12	B01J
X	US 2 739 132 A (RIEDL FREDRICK J) 20 mars 1956 (1956-03-20) * revendication 9; exemple IV * ---	1, 7-9, 11, 12	
X	US 3 474 042 A (PETRINI GUIDO ET AL) 21 octobre 1969 (1969-10-21) * colonne 2, ligne 9-15 * * colonne 3, ligne 13 - ligne 15 * * revendication 1 * ---	1, 6-9 -/-	
3	Date d'achèvement de la recherche 12 mars 2003	Examinateur Gosselin, D	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE PARTIEL**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche  
voir FEUILLE(S) SUPPLÉMENTAIRE(S)

N° d'enregistrement  
nationalFA 620388  
FR 0208318

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendications concernées	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	GB 1 249 079 A (WATTIMENA F;WULFF H P) 6 octobre 1971 (1971-10-06) * page 13, ligne 34 - ligne 43 *	1,7-9	
D, X	WO 01 48119 A (BERNARD JEAN RENE ;FAJULA FRANCOIS (FR); RABION ALAIN (FR); ELF AN) 5 juillet 2001 (2001-07-05)	25	
A	* le document en entier * * page 11, ligne 3 - ligne 6 *	13,14,26	
A	US 5 543 036 A (MARTENAK DANIEL J ET AL) 6 août 1996 (1996-08-06) * exemples *	16-26	
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)	
3		Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
		12 mars 2003	Gosselin, D
EPO FORM 1503 12.99 (POURS)		CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION**  
**FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande  
 FA 620388  
 FR 0208318

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

**1. revendications: 1-24**

le solide selon la revendication 1 ayant la zircone pour support, son procédé de préparation et son utilisation dans les procédés revendiqués

**2. revendications: 1-24**

le solide selon la revendication 1 ayant le dioxyde de titane pour support, son procédé de préparation et son utilisation dans les procédés revendiqués

**3. revendications: 1-24**

le solide selon la revendication 1 ayant un oxyde mixte de dioxyde de titane et de zircone pour support, son procédé de préparation et son utilisation dans les procédés revendiqués

**4. revendications: 25,26**

carburants désulfurés

La première invention a été recherchée.

La présente demande ne satisfait pas aux dispositions de l'article L.612-4 du CPI car elle concerne une pluralité d'inventions qui ne sont pas liées entre elles en formant un seul concept inventif général. La demande comporte a priori quatre groupes d'inventions.

Selon la nature du support, trois groupes d'inventions peuvent être définis:

- 1) le solide selon la revendication 1 ayant la zircone pour support, son procédé de préparation et son utilisation dans les procédés revendiqués (revendications 1 à 24)
- 2) le solide selon la revendication 1 ayant le dioxyde de titane pour support, son procédé de préparation et son utilisation dans les procédés revendiqués (revendications 1 à 24), et
- 3) le solide selon la revendication 1 ayant un oxyde mixte de dioxyde de titane et de zircone pour support, son procédé de préparation et son utilisation dans les procédés revendiqués (revendications 1 à 24).

Le quatrième groupe est constitué par le carburant des revendications 25 et 26.

Le concept inventif général entre les trois premiers groupes et le

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION**  
**FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande

FA 620388  
FR 0208318

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

quatrième est un carbuant désulfuré. La nouveauté et l'activité inventive du carburant revendiqué n'ont pas été établies. La nouveauté et l'activité inventive d'un produit ne découle pas nécessairement de celles de son procédé de préparation.

Le concept inventif général entre les trois premiers groupes est la présence à la surface d'un support d'une couche d'oxyde de tungstène dans laquelle le tungstène est dans une coordination tétraédrique. Ce concept n'est pas nouveau. Il est connu pour des supports tels que l'alumine et la zircone (voir entre autre Langmuir, (1998), Vol.14, Nr.21, p.6140; Results and discussion).

**RECHERCHE INCOMPLÈTE**  
**FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE C**

Numéro de la demande  
FA 620388  
FR 0208318

Certaines revendications n'ont pas fait l'objet d'une recherche ou ont fait l'objet d'une recherche incomplète, à savoir:

Revendications ayant fait  
l'objet de recherches incomplètes:  
1-24

Revendications n'ayant pas fait  
l'objet de recherches:  
25,26

Raison:

Le libellé des revendications n'est pas cohérent. Au vu des revendications 5 et 17, il apparaît que la zircone du support peut être remplacée partiellement ou totalement par du dioxyde de titane. L'objet de la revendication n'est donc pas limité à la seule zircone en tant que support.

Les revendications 1 et 7 comprennent par ailleurs des caractéristiques fonctionnelles qui sont liées au procédé de préparation ou à l'utilisation et dont l'impact sur la composition et la structure du produit revendiqué n'est pas identifiable. Le traitement thermique selon la revendication 7 est assimilable à la calcination. A priori la calcination ayant un impact sur la composition et la structure physique d'un produit, le produit avant et après calcination ne peut être identique, les termes employés nuisent donc à la compréhension de la revendication 1. Il n'a pas été établi dans la demande que la couche d'oxyde de tungstène du produit avant calcination puisse présenter la structure tétraédrique indiquée; ce produit n'a pas été recherché.

L'objet de la revendication 4 n'est pas clair. Un ratio ne devrait pas avoir d'unité. La recherche a été faite en présumant que les pourcentages exprimés correspondaient au poids d'oxyde de tungstène par rapport au poids de zircone.

Finalement, le carburant selon les revendications 25 et 26 n'est pas défini. La seule référence au procédé de désulfuration ne permet pas de déterminer les caractéristiques du carburant. Le demandeur n'a pas démontré que le carburant (gazole) désulfuré selon la demande puisse présenter des caractéristiques techniques différentes de celles d'un carburant désulfuré déjà commercialisé. Le carburant en tant que tel n'a pas été recherché.

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0208318 FA 620388**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 12-03-2003

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2739132	A	20-03-1956	AUCUN		
US 3474042	A	21-10-1969	AT BE CH DE FR GB IL JP LU NL NO SE YU	277170 B 691630 A 495776 A 1542330 A1 1505214 A 1167530 A 27141 A 51001674 B 52651 A1 6618101 A , B 115733 B 329831 B 31203 B	10-12-1969 22-06-1967 15-09-1970 15-04-1971 08-12-1967 15-10-1969 19-08-1970 19-01-1976 21-02-1967 26-06-1967 25-11-1968 26-10-1970 28-02-1973
GB 1249079	A	06-10-1971	AT BE CH DE DK ES FR IE JP NL NO SE US ZA	302983 B 748314 A1 543497 A 2015503 A1 133746 B 378130 A1 2042772 A5 34185 B1 50030049 B 7004582 A , B , 127499 B 375530 B 4367342 A 7002171 A	10-11-1972 01-10-1970 31-10-1973 29-10-1970 12-07-1976 01-06-1972 12-02-1971 05-03-1975 29-09-1975 06-10-1970 02-07-1973 21-04-1975 04-01-1983 24-11-1971
WO 0148119	A	05-07-2001	FR EP WO	2802939 A1 1246889 A1 0148119 A1	29-06-2001 09-10-2002 05-07-2001
US 5543036	A	06-08-1996	AU AU CA DE DE EP ES JP WO US US	688351 B2 7333194 A 2166288 A1 69420849 D1 69420849 T2 0710152 A1 2136201 T3 9501867 T 9503121 A1 5993643 A 6217747 B1	12-03-1998 20-02-1995 02-02-1995 28-10-1999 20-04-2000 08-05-1996 16-11-1999 25-02-1997 02-02-1995 30-11-1999 17-04-2001

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0208318 FA 620388**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 2-03-2003

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5543036 A	US	6224748 B1	01-05-2001
	US	5780382 A	14-07-1998
	US	5719097 A	17-02-1998
	US	5854170 A	29-12-1998

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82